

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off nl gungsschrift  
⑪ DE 3634939 A1

⑳ Aktenzeichen: P 36 34 939.9  
㉑ Anmeldetag: 14. 10. 86  
㉒ Offenlegungstag: 28. 4. 88

⑤① Int. Cl. 4:  
H 04 N 1/00

H 04 N 1/23  
H 04 N 1/46  
B 41 M 1/00  
// G 03 H 1/04

Behördeneigentum

DE 3634939 A1

㉗ Anmelder:

Du Pont de Nemours (Deutschland) GmbH, 4000  
Düsseldorf, DE

㉘ Vertreter:

Schönwald, K., Dr.-Ing.; von Kreisler, A.,  
Dipl.-Chem.; Fues, J., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Keller,  
J., Dipl.-Chem.; Selting, G., Dipl.-Ing.; Werner, H.,  
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 5000 Köln

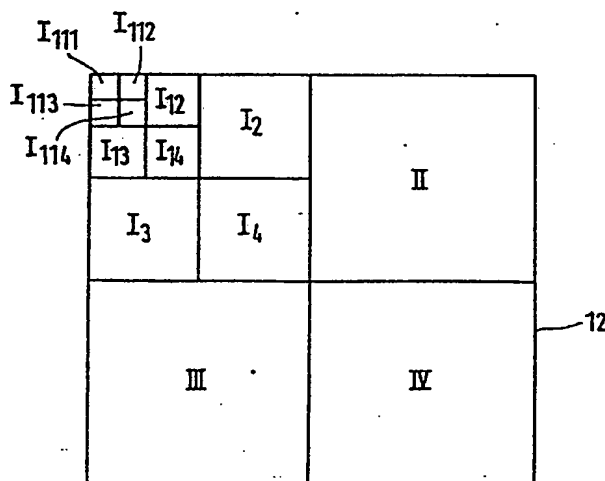
㉙ Erfinder:

Fischer, Gerhard, Dipl.-Ing., 6050 Offenbach, DE;  
Quabeck, Helmut, Dipl.-Phys. Dr., 6113  
Babenhäusen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zum Aufzeichnen von Quasihalbtonbildern

Bei dem Verfahren wird eine Vorlage zeilenweise abgetastet und der Tonwert jedes Abtastpunktes ermittelt. Mehrere Abtastpunkte werden jeweils zu einem Abtastfeld zusammengefaßt. Der mittlere Tonwert jedes Abtastfeldes wird durch Mittelung der Tonwerte der Abtastpunkte dieses Abtastfeldes bestimmt. Die Vorlage wird auf einem Aufzeichnungsmedium durch einzelne Aufzeichnungspunkte, die nur den Farbwert »Voll« oder »Null« annehmen können, wiedergegeben. Mehrere Aufzeichnungspunkte entsprechen dabei einem Abtastfeld der Vorlage. Durch Einfärben einer bestimmten Anzahl von Aufzeichnungspunkten kann der Tonwert des Abtastfeldes im Mittel quasi exakt wiedergegeben werden. Die Verteilung der für ein Abtastfeld einzufärbenden Aufzeichnungspunkte wird durch Unterteilung des Abtastfeldes in kleinste Teilfelder bestimmt. Das Abtastfeld wird dabei in mindestens einem Unterteilungsschritt in diese kleinsten Teilfelder unterteilt, wobei der mittlere Tonwert jedes entstandenen Teilfeldes derart bestimmt wird, daß die Anzahl der in allen Teilfeldern eines Abtastfeldes einzufärbenden Aufzeichnungspunkte dem mittleren Tonwert des Abtastfeldes entspricht.



DE 3634939 A1

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufzeichnen von Quasihalbtonbildern, bei dem eine Vorlage (10) mit einer Abtastauflösung abgetastet, in mehrere Abtastfelder (12) mit jeweils  $k$  Abtastpunkten unterteilt und der mittlere Tonwert jedes Abtastfeldes (12) ermittelt wird, und die Vorlage (10) auf einem Aufzeichnungsmedium mit einer Aufzeichnungsauflösung durch einzelne Aufzeichnungspunkte mit dem Farbwert "Voll" oder "Null" wiedergegeben wird, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Abtastfeld (12) in mindestens einem Unterteilungsschritt in Teilfelder unterteilt wird, daß nacheinander so viele Unterteilungsschritte durchgeführt werden, bis die Teilfelder eine dem Verhältnis aus Abtast- zu Aufzeichnungsauflösung entsprechende Größe aufweisen, und daß nach jedem Unterteilungsschritt die mittleren Tonwerte der aus einem Teilfeld des vorherigen Unterteilungsschrittes entstandenen Teilfelder ermittelt werden, wobei die Summe der mittleren Tonwerte der entstandenen Teilfelder gleich dem mittleren Tonwert desjenigen Teilfeldes des vorherigen Unterteilungsschrittes ist, aus dem die Teilfelder entstanden sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilfelder in den Unterteilungsschritten jeweils in Teilfelder gleicher Größe unterteilt werden und daß die Anzahl der Teilfelder, in die unterteilt wird, in sämtlichen Unterteilungsschritten gleich ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der mittlere Tonwert des Abtastfeldes (12) mit einer Genauigkeit von  $1/k$  bestimmt wird und daß der mittlere Tonwert der in dem  $i$ -ten Unterteilungsschritt entstandenen  $i$ -ten Teilfelder jeweils mit einer Genauigkeit von  $m/k$  ermittelt wird, wobei  $m$  das Flächenverhältnis aus Abtastfeld (12) zu dem entsprechenden  $i$ -ten Teilfeld ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die mittleren Tonwerte der  $n$   $i$ -ten Teilfelder, die sich in dem  $i$ -ten Unterteilungsschritt aus einem  $(i-1)$ -ten Teilfeld des vorherigen Unterteilungsschrittes ergeben, dadurch ermittelt werden, daß für  $(n-1)$   $i$ -te Teilfelder der mittlere Tonwert mit einer Genauigkeit von  $m/k$  ermittelt wird und daß sich der mittlere Tonwert des letzten  $i$ -ten Teilfeldes als Differenz aus dem mittleren Tonwert des  $(i-1)$ -ten Teilfeldes des vorherigen Unterteilungsschrittes und der Summe der mittleren Tonwerte der  $(n-1)$   $i$ -ten Teilfelder ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß  $4^n > 4$  Aufzeichnungspunkte in einem  $2^n$  Zeilen und  $2^n$  Spalten aufweisenden Abtastfeld (12) zusammengefaßt werden und der mittlere Tonwert des Abtastfeldes (12) mit einer Genauigkeit von  $1/4^n$  ermittelt wird, und daß ein Teilfeld in einem Unterteilungsschritt in vier gleichgroße Teilfelder unterteilt wird, wobei die mittleren Tonwerte der vier  $i$ -ten Teilfelder, die in dem  $i$ -ten Unterteilungsschritt entstanden sind, mit einer Genauigkeit von  $1/4^{n-i}$  ermittelt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Abtastfeld (12) bei einem Verhältnis aus Abtast- zu Aufzeichnungsauflösung größer als 1 durch die sukzessiven Unterteilungsschritte in kleinste Teilfelder unter-

teilt wird, die jeweils gleich der Größe eines Aufzeichnungselementes sind.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Abtastfeld (12) bei einem Verhältnis aus Abtast- zu Aufzeichnungsauflösung kleiner als oder gleich 1 durch die sukzessiven Unterteilungsschritte in kleinste Teilfelder unterteilt wird, die gleich der Größe eines Abtastelementes sind.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Verhältnis kleiner als 1 für jeden möglichen Tonwert, der durch die dem Verhältnis entsprechenden Anzahl von Aufzeichnungselementen darstellbar ist, die Verteilung der Aufzeichnungselemente zuvor festgelegt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Verhältnis kleiner als 1 für jeden möglichen Tonwert, der durch die dem Verhältnis entsprechenden Anzahl von Aufzeichnungselementen darstellbar ist, die Verteilung der Aufzeichnungselemente zufällig ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtast- und die Aufzeichnungspunkte jeweils in einer orthogonalen Matrix angeordnet sind.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtast- und die Aufzeichnungspunkte jeweils in einer orthogonalen Matrix angeordnet sind, deren Zeilen bzw. Spalten abwechselnd gegeneinander verschoben sind.

12. Verfahren zum Aufzeichnen von mehrfarbigen Quasihalbtonbildern, die aus mehreren additiven oder subtraktiven Grundfarben zusammengesetzt werden, dadurch gekennzeichnet, daß für jede Grundfarbe das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 durchgeführt wird und die dabei entstehenden Einfarben-Quasihalbtonbilder überlagert werden.

13. Verfahren zum Aufzeichnen von dreidimensionalen Quasihalbtonbildern, bei dem eine Vorlage mit einer Abtastauflösung abgetastet, in mehrere Abtastvolumen mit jeweils  $K$  Abtastvolumenelementen unterteilt und der räumliche mittlere Tonwert jedes Abtastvolumens ermittelt wird, und die Vorlage auf einem Aufzeichnungsmedium mit einer Aufzeichnungsauflösung durch einzelne Aufzeichnungsvolumenelemente mit dem Farbwert "Voll" oder "Null" wiedergegeben wird, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Abtastvolumen in mindestens einem Unterteilungsschritt in Teilvolumen unterteilt wird, daß nacheinander so viele Unterteilungsschritte durchgeführt werden, bis die Teilvolumen eine dem Verhältnis aus Abtast- zu Aufzeichnungsauflösung entsprechende Größe aufweisen, und daß nach jedem Unterteilungsschritt die mittleren Tonwerte der aus einem Teilvolumen des vorherigen Unterteilungsschrittes entstandenen Teilvolumens ermittelt werden, wobei die Summe der mittleren Tonwerte der entstandenen Teilvolumina gleich dem mittleren Tonwert desjenigen Teilvolumens des vorherigen Unterteilungsschrittes ist, aus dem die Teilvolumina entstanden sind.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtast- und Aufzeichnungsvolumenelemente jeweils in einer orthogonalen dreidimensionalen Matrix angeordnet sind.

15. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtast- und die Aufzeichnungsvolumenelemente jeweils in einer orthogonalen dreidimensionalen Matrix angeordnet sind.

lumenelemente jeweils in einer orthogonalen dreidimensionalen Matrix mit hexagonal dichtester Kugelpackung angeordnet sind.

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Aufzeichnen von Quasihalbtonbildern, bei dem eine Vorlage mit einer Abtastauflösung abgetastet, in mehrere Abtastfelder mit jeweils  $k$  Abtastpunkten unterteilt und der mittlere Tonwert jedes Abtastfeldes ermittelt wird, und die Vorlage auf einem Aufzeichnungsmedium mit einer Aufzeichnungsauflösung durch einzelne Aufzeichnungspunkte mit dem Farbwert "Voll" und "Null" wiedergegeben wird.

Mit einem derartigen Verfahren können Vorlagen, beispielsweise Schwarz-Weiß-Vorlagen, auf einem Aufzeichnungsmedium, wie z. B. einem Blatt Papier, einer Druckplatte oder einem Bildschirm, durch einzelne Aufzeichnungspunkte wiedergegeben werden. Die Aufzeichnungspunkte können dabei nur schwarz oder weiß sein. Die unterschiedlichen Graustufen einer Vorlage, die von schwarz bis weiß reichen, werden auf dem Aufzeichnungsmedium dadurch realisiert, daß die der schwarz eingefärbten Aufzeichnungspunkte in Abhängigkeit von der zu realisierenden Graustufe variiert wird. Das bedeutet, daß sämtliche Aufzeichnungspunkte eines schwarzen Bereiches der Vorlage in der Wiedergabe schwarz sind, während der Anteil von zwischen den schwarzen Aufzeichnungspunkten angeordneten weißen Aufzeichnungspunkten mit abnehmender Schwärze zunimmt. In hellgrauen Bereichen der Vorlage weist das Aufzeichnungsmedium eine geringe Häufigkeit von schwarzen Aufzeichnungspunkten auf, bis schließlich in weißen Bereichen auch sämtliche Aufzeichnungspunkte weiß, d. h. nicht eingefärbt, sind.

Es sind Verfahren bekannt, bei denen die einzelnen Aufzeichnungspunkte der Graustufe der Vorlage entsprechend stark oder schwach eingefärbt sind. Mit einem solchen Verfahren kann auf dem Aufzeichnungsmedium jede Graustufe der Grauskala wiedergegeben werden. Bei derartig aufgezeichneten Bildern spricht man von sogenannten Halbtonbildern. Sollen jedoch Vorlagen mit Hilfe von Aufzeichnungspunkten, die entweder den Farbwert "Voll" (schwarz) oder "Null" (weiß) annehmen können, wiedergegeben werden, so ist dies mit der Halbtonbild-Aufzeichnungstechnik nicht mehr möglich. Die verschiedenen Graustufen können mit Aufzeichnungspunkten, die nur zwei Farbwerte annehmen können, dadurch realisiert werden, daß die Flächenhäufigkeit der eingefärbten (oder der nicht eingefärbten) Aufzeichnungspunkte variiert wird. Damit läßt sich nicht mehr jede Graustufe der Grauskala exakt wiedergeben, echte "Halbtonbilder" entstehen also nicht. Man spricht daher von "Quasihalbtonbildern", mit denen die Graustufen der Grauskala gemäß einer zuvor vorgenommenen Einteilung in Graustufen wiedergegeben werden. Die Verarbeitung solcher Quasihalbtonbilder mit Hilfe der Digitaltechnik ist sehr einfach, da die Bildverarbeitung binär erfolgen kann ("1" für einen eingefärbten und "0" für einen nicht eingefärbten Bildpunkt).

Aus EP-A-01 32 453 ist ein Verfahren zum Aufzeichnen von Quasihalbtonbildern bekannt. Dieses Verfahren minimiert die Fehler bei der digitalen Verarbeitung von elektrischen Signalen, was anhand eines Bildaufzeichnungsprozesses erläutert wird. Bei dem bekannten Verfahren wird eine Vorlage mit einer bestimmten Ab-

tastauflösung zeilen- und innerhalb der Zeilen punktweise abgetastet. Dabei wird die Graustufe oder allgemein der Tonwert für jeden Abtastpunkt der Vorlage ermittelt und gespeichert. Der Tonwert eines Abtastpunktes wird anhand einer in 256 Tonwertstufen unterteilten Tonwertskala ermittelt. Ein Abtastfeld besteht aus mehreren in einer Matrix angeordneten Abtastpunkten und wird auf einem Aufzeichnungsmedium durch eine bestimmte Anzahl von matrixförmig angeordneten Aufzeichnungspunkten wiedergegeben, die entweder den Farbwert "Voll" oder den Farbwert "Null" annehmen können.

Bei dem bekannten Verfahren soll ein Abtastpunkt der Vorlage durch sechzehn Aufzeichnungspunkte auf dem Aufzeichnungsmedium wiedergegeben werden. Das bedeutet, daß die 256 Tonwerte der Vorlage durch sechzehn Tonwerte auf dem Aufzeichnungsmedium wiedergegeben werden. Die sechzehn Graustufen in der Wiedergabe entstehen dadurch, daß eine der Tonwertstufe des Abtastpunktes entsprechende Anzahl der sechzehn Aufzeichnungspunkte eingefärbt werden. Bei der Umrechnung der Tonwertstufen der Vorlagen in diejenigen Tonwertstufen, die auf dem Aufzeichnungsmedium realisiert werden, entstehen relativ große Fehler. Um den Fehler in der Wiedergabe zu minimieren, werden jeweils mehrere Abtastpunkte zu einem Abtastfeld zusammengefaßt, dessen mittlere Tonwertstufe (Mittelwertbildung der Tonwerte sämtlicher Abtastpunkte des Abtastfeldes) möglichst genau wiedergegeben wird. Jeder einzelne Abtastpunkt des Abtastfeldes kann also durchaus mit einem relativ großen Fehler wiedergegeben werden, während die mittlere Tonwertstufe des Abtastfeldes relativ genau wiedergegeben wird.

Das bekannte Verfahren weist sehr umfangreiche Berechnungen zur Minimierung der Fehler, die bei der Umrechnung der Tonwertstufen der Vorlagen in diejenigen des Aufzeichnungsmediums gemacht werden, auf. Außerdem müssen große Matrizen mit Daten verarbeitet werden. Ferner ist das Auflösungsvermögen der mit diesem Verfahren aufgezeichneten Bildern wegen der Größe der Abtastpunkte, denen in der Wiedergabe jeweils mehrere Aufzeichnungspunkte entsprechen, begrenzt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Aufzeichnen von Quasihalbtonbildern zu schaffen, bei dem Vorlagen mit einem sehr hohen Auflösungsvermögen und mit ausreichender Tonabstufung aufgezeichnet werden.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß jedes Abtastfeld in mindestens einem Unterteilungsschritt in Teilfelder unterteilt wird, daß nacheinander so viele Unterteilungsschritte durchgeführt werden, bis die Teilfelder eine dem Verhältnis aus Abtast- zu Aufzeichnungsauflösung entsprechende Größe aufweisen, und daß nach jedem Unterteilungsschritt die mittleren Tonwerte der aus einem Teilfeld des vorherigen Unterteilungsschrittes entstandenen Teilfelder ermittelt werden, wobei die Summe der mittleren Tonwerte der entstandenen Teilfelder gleich dem mittleren Tonwert desjenigen Teilfeldes des vorherigen Unterteilungsschrittes ist, aus dem die Teilfelder entstanden sind.

Unter "Aufzeichnung" wird im Rahmen dieser Erfindung sowohl die Wiedergabe von optisch abgetasteten Vorlagen als auch die Wiedergabe von auf einem Datenträger gespeicherten Vorlagen als Quasihalbtonbilder verstanden.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird jedes

Abtastfeld in mindestens einem Unterteilungsschritt in Teilfelder unterteilt, die eine dem Verhältnis aus Abtast- zu Aufzeichnungsauflösung entsprechende Größe aufweisen. Wenn beispielsweise mit einem Verhältnis aus Abtast- zu Aufzeichnungsauflösung von eins gearbeitet wird, d. h. wenn die Abtastpunkte genauso groß wie die Aufzeichnungspunkte sind, haben die Teilfelder die Größe eines Abtast- bzw. Aufzeichnungspunktes. Jedes Abtastfeld wird in diesem Fall in den aufeinanderfolgenden Unterteilungsschritten in die einzelnen Abtastpunkte unterteilt. Je nachdem, wieviele Abtastpunkte in einem Abtastfeld zusammengefaßt sind, sind auch mehrere Unterteilungsstufen möglich. Dabei erfolgt in jedem Unterteilungsschritt ein Abgleich der mittleren Tonwerte der in diesem Unterteilungsschritt entstandenen Teilfelder mit dem mittleren Tonwert desjenigen Teilfeldes des vorherigen Unterteilungsschrittes, aus dem die Teilfelder entstanden sind. Auf diese Art und Weise wird von Unterteilungsschritt zu Unterteilungsschritt ein Tonwertabgleich vorgenommen, so daß sich der Fehler bei der Bestimmung der Tonwerte der in einem Unterteilungsschritt entstandenen Teilfelder nicht vergrößert.

Die Aufteilung der Vorlage in die Abtastfelder hat die Aufgabe, die Tonwerte der Vorlage in den durch die Größe des Abtastfeldes bestimmten Bereichen im Mittel exakt wiederzugeben. Für eine gute Reproduktion einer Vorlage ist nämlich unter anderem entscheidend, daß die Tonwerte der Vorlage in der Reproduktion fast exakt wiedergegeben werden. Dazu werden einzelne Bereiche der Vorlage, die obigen Abtastfelder, betrachtet, und es wird gefordert, daß der mittlere Tonwert dieser Bereiche bei der Aufzeichnung exakt wiedergegeben wird. Der mittlere Tonwert eines Abtastfeldes wird dabei durch Mittlung der Tonwerte sämtlicher in dem Abtastfeld enthaltener Abtastpunkte berechnet.

Um aber auch eine Vorlage bei möglichst geringem Schärfeverlust oder anders ausgedrückt, mit maximal genauer Detailwiedergabe, aufzeichnen zu können, wird das Abtastfeld in mehreren Unterteilungsschritten in erste, zweite, dritte, usw. Teilfelder unterteilt. Das Abtastfeld selbst kann nur ein relativ geringes Auflösungsvermögen der Vorlage ermöglichen, er wurde allerdings auch nur zu dem Zweck gebildet, die Mindestanforderungen hinsichtlich der Tonwerte sicher zu erfüllen. Das gewünschte Auflösungsvermögen und damit eine Wiedergabe der Vorlage mit der gewünschten Schärfe wird nun durch schrittweises Unterteilen des Abtastfeldes erreicht. Die einzelnen Teile des Abtastfeldes sind natürlich kleiner als dieses, wodurch eine größere Auflösung erreicht wird, als dies durch die Abtastfelder möglich ist. Dieser Sachverhalt soll nachfolgend anhand eines Beispiels erläutert werden.

Das menschliche Auge kann erfahrungsgemäß etwa bis zu 150 Tonwertstufen (also im Falle eines Schwarz-Weiß-Bildes ca. 150 Graustufen von schwarz bis weiß) visuell unterscheiden. Der Tonwert eines Abtastfeldes sollte also durch eine von 150 Tonwertstufen wiedergegeben werden können. Da die Vorlage nur durch einzelne Aufzeichnungspunkte mit dem Farbwert "Voll" oder "Null" wiedergegeben wird, muß ein Abtastfeld durch mindestens 150 Aufzeichnungspunkte wiedergegeben werden. Je nach der Anzahl der für dieses Abtastfeld eingefärbten Aufzeichnungspunkte ergeben sich 150 Tonwertstufen.

Die zur Bildverarbeitung heute übliche Digitaltechnik legt deshalb für die Größe des Abtastfeldes nahe, daß dieses 256 Abtast- bzw. Aufzeichnungspunkte umfaßt,

was z. B. einem quadratischen Abtastfeld von  $16 \times 16$  Abtast- bzw. Aufzeichnungspunkten entspricht. Der mittlere Tonwert eines solchen Abtastfeldes kann quasi exakt aufgezeichnet werden, nämlich durch eine von 256 Tonwertstufen (d. h. mit einer Genauigkeit von  $1/256$ ). Legt man beispielsweise als Durchmesser eines Abtastpunktes etwa  $20 \mu\text{m}$  zugrunde, so erhält man ein Abtastfeld der Größe  $300 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$  ( $16 \times 20 \mu\text{m} = 320 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$ ). 1 cm der Vorlage könnte also in etwa dreißig nebeneinander bzw. untereinander angeordneter Abtastfelder unterteilt werden. Mit der Einteilung der Vorlage in die Abtastfelder kann also nur ein Auflösungsvermögen der Vorlage von etwa 30 Linien/cm (30 L/cm) erreicht werden. Dieses Auflösungsvermögen ist natürlich zu gering, um die Anforderungen hinsichtlich der Schärfe und der Detailwiedergabe der Vorlage zu erfüllen. Um ein größeres Auflösungsvermögen erzielen zu können, wird das Abtastfeld in mehrere kleinere Teilfelder unterteilt. Für die Teilfelder des Abtastfeldes nimmt das Auflösungsvermögen je nach Größe der Teilfelder, in die das Abtastfeld unterteilt ist, zu. Beispielsweise ermöglicht die Aufteilung des Abtastfeldes in vier Teilfelder das doppelte Auflösungsvermögen des Abtastfeldes, eine weitere Unterteilung der einzelnen Teilfelder in vier wiederum gleichgroße Teilfelder bereits das vierfache Auflösungsvermögen, usw. Im Grenzfall kann das Abtastfeld 256fach unterteilt werden (nämlich genau in die einzelnen Abtastpunkte), wobei das höchstmögliche Auflösungsvermögen, im beispielhaften Fall 500 L/cm, erreicht wird. In diesem Fall würde die Vorlage in  $20 \mu\text{m}$  breiten Linien wiedergegeben werden. Ein 1 cm breiter Streifen der Vorlage würde also durch 500 Linien mit einer Breite von  $20 \mu\text{m}$  auf dem Aufzeichnungsmedium wiedergegeben werden. Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens werden Vorlagen mit sehr hohem Auflösungsvermögen und bei ausreichender Tonwertabstufung aufgezeichnet bzw. wiedergegeben. Visuelle Verluste hinsichtlich der Detail- und der Tonwertwiedergabe der Vorlage sind daher fast nicht erkennbar. Durch die Detailauflösung der Vorlage (d. h. durch die Aufteilung des Abtastfeldes in im Extremfall die einzelnen Abtastpunkte) wird ein verbesserter Kontrast (Detailkontrast) und damit auch die größtmögliche Bildschärfe in der Wiedergabe erzielt. Die Vorlagen- bzw. Bilddaten können sehr einfach und schnell in digitaler Form weiterverarbeitet werden. Umfangreiche Berechnungen zur Vermeidung von Akkumulationsfehlern bei der Bestimmung der mittleren Tonwerte der einzelnen Teilfelder, in die das Abtastfeld unterteilt wird, entfallen, da von Unterteilungsschritt zu Unterteilungsschritt ein Tonwertabgleich vorgenommen wird.

Vorteilhafterweise ist vorgesehen, daß die Teilfelder in der bzw. den Unterteilungsschritten jeweils in Teilfelder gleicher Größe unterteilt werden und daß die Anzahl der Teilfelder, in die unterteilt wird, in sämtlichen Unterteilungsschritten gleich ist. Durch diese Maßnahme läßt sich das Verfahren besonders einfach durchführen. Im Hinblick auf die bei der Bildverarbeitung bevorzugt eingesetzte Digitaltechnik ist es besonders zweckmäßig, die Unterteilung des Abtastfeldes mittels digitalwertiger Schritte vorzunehmen, d. h. das Abtastfeld in dem ersten Unterteilungsschritt zunächst in zwei erste Teilfelder, diese beiden ersten Teilfelder in dem zweiten Unterteilungsschritt in zwei zweite Teilfelder (das Abtastfeld ist demnach nach dem zweiten Unterteilungsschritt in vier zweite Teilfelder gleicher Größe unterteilt), usw. zu zerlegen. Auch der Tonwert jedes einzel-

nen Abtastpunktes des Abtastfeldes liegt in binärkodierter Form vor. Die Länge dieses Binärcodes ist durch die Anzahl der in einem Abtastfeld zu realisierenden mittleren Tonwertstufen bestimmt (im Falle von 256 Tonwertstufen pro Abtastfeld ergibt sich ein Binärcode mit 8 Bits). Die mittleren Tonwerte der einzelnen Teilfelder können dann durch Addition der Tonwerte der Abtastpunkte dieses Teilfeldes bestimmt werden. Die obersten 7 Bits dieser Summe ergeben dann den mittleren Tonwert eines ersten Teilfeldes, wenn das Abtastfeld, wie oben beschrieben, in 256 Tonwertstufen wiedergegeben werden kann. Dementsprechend ergeben die obersten 6 Bits der Tonwertsumme aus den Tonwerten der Abtastpunkte eines zweiten Teilfeldes den mittleren Tonwert dieses zweiten Teilfeldes, während die obersten 5 Bits der Tonwertsumme aus den Tonwerten der Abtastpunkte eines dritten Teilfeldes den mittleren Tonwert des dritten Teilfeldes ergeben usw. Die zur Durchführung des Verfahrens erforderlichen Daten bezüglich der mittleren Tonwerte lassen sich also bei dieser Weiterbildung der Erfindung sehr einfach und schnell berechnen.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß der mittlere Tonwert des Abtastfeldes mit einer Genauigkeit von  $1/k$  bestimmt wird und daß der mittlere Tonwert, der in dem  $i$ -ten Unterteilungsschritt entstandenen  $i$ -ten Teilfelder jeweils mit einer Genauigkeit von  $m/k$  ermittelt wird, wobei  $m$  das Flächenverhältnis aus Abtastfeld zu dem entsprechenden  $i$ -ten Teilfeld ist. Die Genauigkeit, mit der der mittlere Tonwert eines in dem  $i$ -ten Unterteilungsschritt entstandenen  $i$ -ten Teilfeldes ermittelt wird, nimmt mit kleiner werdendem Teilfeldern ab. Wird beispielsweise ein Abtastfeld durch 64 Aufzeichnungspunkte wiedergegeben, so kann der mittlere Tonwert des Abtastfeldes mit einer Genauigkeit von 6 Bit, d. h. bis auf  $1/64$  genau wiedergegeben werden. Wird dieses Abtastfeld in dem ersten Unterteilungsschritt in zwei gleichgroße erste Teilfelder unterteilt, so besteht jedes dieser Teilfelder aus  $64 : 2 = 32$  Aufzeichnungspunkten. Mit 32 Aufzeichnungspunkten läßt sich die Tonwertskala jedoch nur in 32 Stufen wiedergeben. Der mittlere Tonwert wird also mit einer Genauigkeit von  $m/k = 2/64 = 1/32$  wiedergegeben. Hierdurch vereinfacht sich die weitere Verarbeitung der Daten, da es unzweckmäßig ist, die mittleren Tonwerte der einzelnen Teilfelder mit einer Genauigkeit weiterzuverarbeiten, mit der sie auf dem Aufzeichnungsmedium nicht wiedergegeben werden können.

Vorteilhafterweise ist vorgesehen, daß die mittleren Tonwerte der  $n$   $i$ -ten Teilfelder, die sich in dem  $i$ -ten Unterteilungsschritt aus einem  $(i-1)$ -ten Teilfeld des vorherigen Unterteilungsschrittes ergeben, dadurch ermittelt werden, daß für  $(n-1)$ -ten Teilfeld des vorherigen Unterteilungsschrittes ergeben, dadurch ermittelt werden, daß für  $(n-1)$   $i$ -ten Teilfelder der mittlere Tonwert mit einer Genauigkeit von  $m/k$  ermittelt wird, wobei  $m$  das Flächenverhältnis aus Abtastfeld und  $i$ -tem Teilfeld ist, und daß sich der mittlere Tonwert des letzten  $i$ -ten Teilfeldes als Differenz aus dem mittleren Tonwert des Teilfeldes des vorherigen Unterteilungsschrittes und der Summe der mittleren Tonwerte der  $(n-1)$   $i$ -ten Teilfelder ermittelt wird. Bei dieser Weiterbildung der Erfindung wird der Tonwert, der in dem  $i$ -ten Unterteilungsschritt entstandenen  $n$   $(i-ten)$  Teilfelder dadurch bestimmt, daß zunächst der mittlere Tonwert von  $(n-1)$   $i$ -ten Feldern durch Mittlung der Tonwerte der jeweiligen, diese  $i$ -ten Teilfelder darstellenden Abtastpunkte

ermittelt wird. Die Genauigkeit, mit der die mittleren Tonwerte der  $(n-1)$   $i$ -ten Teilfelder ermittelt wird, ergibt sich dabei aufgrund der bereits oben ausgeführten Betrachtungen. Der mittlere Tonwert des letzten  $i$ -ten Teilfeldes ergibt sich als Differenz aus dem mittleren Tonwert desjenigen  $(i-1)$ -ten Teilfeldes des vorherigen Unterteilungsschrittes, aus dem die  $n$   $i$ -ten Teilfelder des  $i$ -ten Unterteilungsschrittes hervorgegangen sind, und der Summe der berechneten mittleren Tonwerte der  $(n-1)$   $i$ -ten Teilfelder. Auf diese Art und Weise erfolgt in jedem Unterteilungsschritt ein Abgleich der mittleren Tonwerte der  $n$  Teilfelder und dem mittleren Tonwert des entsprechenden  $(i-1)$ -ten Teilfeldes des vorherigen Unterteilungsschrittes.

Die bei der Bestimmung der mittleren Tonwerte der  $(n-1)$   $i$ -ten Teilfelder infolge der abnehmenden Genauigkeit gemachten Rundungsfehler wirken sich nicht störend aus, weil das menschliche Auge die kleineren Teilfelder unter entsprechend kleinerem Sehwinkel sieht und deren Tonwerte daher immer ungenauer erkennen kann. Tatsächlich sind also Rundungsfehler der mittleren Tonwerte der einzelnen Flächen praktisch bedeutungslos, denn sie sind visuell nicht erkennbar. Man kann sogar die mittleren Tonwerte der Teilfelder nach Belieben auf- oder abrunden, ohne daß dies visuell erkennbar ist. Dies bedeutet, daß die Anzahl der in einem Teilfeld einzufärbenden Aufzeichnungspunkte um "1" erhöht oder erniedrigt werden kann, ohne daß dieser Fehler visuell erkennbar wird. Genau dieser Spielraum wird bei der gerade beschriebenen Weiterbildung der Erfindung genutzt, um die Anzahl der einzufärbenden Aufzeichnungspunkte in den einzelnen Teilfeldern exakt auf die Gesamtanzahl der einzufärbenden Aufzeichnungspunkte für das Abtastfeld abzustimmen. Hierdurch werden Akkumulationsfehler bei der Bestimmung der mittleren Tonwerte der in den Unterteilungsschritten entstehenden Teilfelder verhindert.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß  $4^n \geq 4$  Aufzeichnungspunkte in einem  $2^n$  Zeilen und  $2^n$  Spalten aufweisenden Abtastfeld zusammengefaßt werden und der mittlere Tonwert des Abtastfeldes mit einer Genauigkeit von  $1/4^n$  ermittelt wird, und daß ein Teilfeld in einem Unterteilungsschritt in vier gleichgroße Teilfelder unterteilt wird, wobei die mittleren Tonwerte der vier Teilfelder, die in dem  $i$ -ten Unterteilungsschritt entstanden sind, mit einer Genauigkeit von  $1/4^{n-i}$  ermittelt werden. Bei dieser Variante des Verfahrens wird das Abtastfeld in nur  $n$  Unterteilungsschritten bis zum einzelnen Abtastpunkt unterteilt, wobei jedes in einem Unterteilungsschritt entstandene Teilfeld in dem darauffolgenden Unterteilungsschritt in vier Teilfelder gleicher Größe unterteilt wird. Die Verarbeitung der Tonwertdaten der Abtastpunkte des Abtastfeldes und die Unterteilung des Abtastfeldes in die Teilfelder werden dadurch beschleunigt, wobei die bei der Bestimmung der mittleren Tonwerte der Teilfelder gemachten Fehler noch tolerierbar sind.

Vorteilhafterweise wird das Abtastfeld bei einem Verhältnis aus Abtast- zu Aufzeichnungsauflösung größer als "1" durch die sukzessiven Unterteilungsschritte bis in kleinste Teilfelder unterteilt, die jeweils gleich der Größe eines Aufzeichnungspunktes sind. Dieser Sachverhalt soll anhand eines Beispiels erläutert werden. Es sei angenommen, daß ein Abtastpunkt einen Durchmesser von  $20\text{ }\mu\text{m}$  und ein Aufzeichnungspunkt einen Durchmesser von  $40\text{ }\mu\text{m}$  aufweist. Die Vorlage wird also in  $20\text{ }\mu\text{m}$  breiten Zeilen abgetastet, während sie in  $40\text{ }\mu\text{m}$

breiten Zeilen wiedergegeben wird. Das heißt, daß jeweils vier Abtastpunkte einem Aufzeichnungspunkt entsprechen. Die Vrlage wird also doppelt so fein abgetastet, wie sie wiedergegeben werden kann. Das bedeutet, daß eine Aufteilung des Abtastfeldes bis in Teilfelder, die die Größe eines Abtastpunktes aufweisen, nicht zweckmäßig ist, da dieser einzelne Abtastpunkt im Aufzeichnungsmedium nicht dargestellt werden kann. Die Unterteilung erfolgt deshalb nur bis zu dem Schritt, bei dem die entstandenen Teilfelder die Größe eines Aufzeichnungspunktes haben. Wenn die Abtastauflösung größer als die Aufzeichnungsauflösung ist, läuft das Verfahren also schneller ab, da weniger Unterteilungsschritte durchgeführt werden.

Demgegenüber ist bei einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, daß das Abtastfeld bei einem Verhältnis aus Abtast- zu Aufzeichnungsauflösung kleiner als oder gleich 1 durch die sukzessiven Unterteilungsschritte in kleinste Teilfelder unterteilt wird, die gleich der Größe eines Abtastelementes sind. Ist die Aufzeichnungsauflösung größer oder gleich der Abtastauflösung, d. h. wird die Vorlage feiner oder genauso fein wiedergegeben, als bzw. wie sie abgetastet worden ist, wird das Abtastfeld in kleinste Teilfelder unterteilt, die die Größe eines Abtastpunktes haben. Bei einem Verhältnis aus Abtast- zu Aufzeichnungsauflösung von 1 ergibt sich auf diese Art und Weise die naturgetreueste Wiedergabe der Vorlage.

Ist die Abtastauflösung kleiner als die Aufzeichnungsauflösung, so wird ein Abtastpunkt der Vorlage auf dem Aufzeichnungsmedium durch eine dem Verhältnis aus Abtast- zu Aufzeichnungsauflösung entsprechende Anzahl von Aufzeichnungspunkten dargestellt. Wenn beispielsweise die Abtastauflösung halb so groß wie die Aufzeichnungsauflösung ist, wird ein Abtastpunkt durch vier Aufzeichnungspunkte dargestellt. Damit wird auch der Tonwert eines Abtastpunktes durch vier Aufzeichnungspunkte, die den Farbwert "Voll" oder "Null" annehmen können, wiedergegeben. Das Verfahren kann also auch in den Fällen angewandt werden, in denen die Abtastauflösung kleiner als die Aufzeichnungsauflösung ist. Dies ist z. B. bei fotografischer und elektrofotografischer Aufzeichnung oder bei einer Aufzeichnung mittels Laser der Fall. Dabei kann es vorkommen, daß die Vorlagen eine geringere Schärfe haben oder die Schärfe nicht bildwichtig ist und es deshalb genügt, die Vorlagen weniger genau, d. h. weniger fein abzutasten und dann die Aufzeichnungsauflösung umso höher zu wählen. Ist das Verhältnis aus Abtast- zu Aufzeichnungsauflösung kleiner als 1, kann die Verteilung der einzufärbenden Aufzeichnungspunkte für jeden möglichen Tonwert, der durch die einen Abtastpunkt entsprechende Anzahl von Aufzeichnungspunkten darstellbar ist, entweder zuvor festgelegt werden oder zufällig sein. Wird beispielsweise ein Abtastpunkt durch vier Aufzeichnungspunkte wiedergegeben, sind mit den Aufzeichnungspunkten neben weiß vier Tonwerte realisierbar. Die Position der für einen bestimmten Tonwert einzufärbenden Aufzeichnungspunkte kann dabei entweder zuvor festgelegt werden und damit stets gleich oder zufällig sein. Die letzte Alternative hat den Vorteil, daß bei der Wiedergabe eines Bereiches der Vorlage mit über den gesamten Bereich gleichem Tonwert keine "Aufzeichnungspunktmuster" entstehen, die sich unter Umständen störend auswirken können.

Vorteilhafterweise sind die Abtast- und die Aufzeichnungspunkte jeweils in einer orthogonalen Matrix angeordnet. Das Abtastfeld kann bei einer derartigen Anord-

nung der Abtastpunkte sehr einfach in einzelne Teilfelder unterteilt werden, wobei die einzelnen Abtastpunkte sehr einfach den einzelnen Teilfeldern zugeordnet werden können.

Vorzugsweise sind die Abtast- und die Aufzeichnungspunkte jeweils in einer orthogonalen Matrix angeordnet, deren Zeilen bzw. Spalten abwechselnd gegeneinander verschoben sind. Bei diesem Ordnungsschema der Abtast- bzw. Aufzeichnungspunkte weist ein Abtast- bzw. Aufzeichnungspunkt sechs sogenannte nächste Nachbarpunkte auf, d. h. die Abtast- oder Aufzeichnungspunkte einer Reihe sind jeweils zwischen den Abtast- bzw. Aufzeichnungspunkten der benachbarten Reihen angeordnet. Die Zeilen bzw. Spalten einer solchen Matrix sind demzufolge abwechselnd gegeneinander verschoben. Durch ein derartiges Ordnungsschema kann einerseits die Vorlage wesentlich exakter abgetastet und andererseits das Bild wesentlich exakter aufgezeichnet werden, da die Größe der Zwischenräume zwischen den einzelnen Abtast- bzw. Aufzeichnungspunkten infolge der "hohen Packungsdichte" der Punkte minimiert ist. Dieses hexagonale Ordnungsschema ist insbesondere bei kleinen Abtast- und Aufzeichnungspunkten vorteilhaft.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann nicht nur zum Aufzeichnen von einfarbigen, sondern auch zum Aufzeichnen von mehrfarbigen Quasihalbtonbildern, die sich aus mehreren additiven oder subtraktiven Grundfarben zusammensetzen, verwendet werden. Hierbei wird das oben beschriebene Verfahren für jede der Grundfarben durchgeführt und die dabei entstehenden Einfarben-Quasihalbtonbilder anschließend überlagert. Für jede additive bzw. subtraktive Grundfarbe wird jedem Abtastpunkt beim Abtasten ein bestimmter Tonwert der Grundfarbe zugeordnet. Bei der anschließenden Unterteilung eines Abtastfeldes wird jeweils der mittlere Tonwert der betreffenden Grundfarbe des entstandenen Teilfeldes in der oben beschriebenen Art und Weise ermittelt bzw. berechnet. Die einzelnen Aufzeichnungspunkte können entweder voll mit der entsprechenden additiven bzw. subtraktiven Grundfarbe eingefärbt oder gar nicht eingefärbt sein. Bei der Mehrfarben-Bildaufzeichnung mit Hilfe dieses Verfahrens können auch die bekannten Techniken zur Vermeidung von Moiré-Erscheinungen angewendet werden.

Das Verfahren kann auch zum Aufzeichnen von dreidimensionalen Vorlagen verwendet werden. Dabei wird die Vorlage mit einer Abtastauflösung abgetastet, in mehrere Abtastvolumen mit jeweils  $K$  Abtastvolumenelementen unterteilt und der räumliche mittlere Tonwert jedes Abtastvolumens ermittelt, und die Vorlage auf einem Aufzeichnungsmedium mit einer Aufzeichnungsauflösung durch einzelne Aufzeichnungsvolumenelemente mit dem Farbwert "Voll" oder "Null" wiedergegeben.

Bei der Aufzeichnung der dreidimensionalen Vorlage ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß jedes Abtastvolumen in mindestens einem Unterteilungsschritt in Teilvervolumen unterteilt wird, daß nacheinander so viele Unterteilungsschritte durchgeführt werden, bis die Teilvervolumen eine dem Verhältnis aus Abtast- zu Aufzeichnungsauflösung entsprechende Größe aufweisen, und daß nach jedem Unterteilungsschritt die mittleren Tonwerte der aus einem Teilvervolumen des vorherigen Unterteilungsschrittes entstandenen Teilvervolumens ermittelt werden, wobei die Summe der mittleren Tonwerte der entstandenen Teilvervolumina gleich dem mittleren Tonwert desjenigen Teilvervolumens des vorherigen Untertei-

lungsschrittes ist, aus dem die Teilvolumina entstanden sind. Die Ermittlung der mittleren räumlichen Tonwerte der  $i$ -ten Volumen, die aus einem  $(i-1)$ -ten Volumen entstanden sind, erfolgt dabei genauso wie bei den Verfahren zum Aufzeichnen von zweidimensionalen Vorlagen.

Die oben beschriebenen Weiterbildungen bzw. Varianten des Verfahrens zum Aufzeichnen von zweidimensionalen Vorlagen gelten analog auch für den Fall des Aufzeichnens von holographischen Bildern. Die in dem Zusammenhang mit den Weiterbildungen gemachten Überlegungen müssen lediglich auf den dreidimensionalen Raum übertragen werden.

Zum Aufzeichnen von holographischen Bildern können die Abtast- und Aufzeichnungsvolumenelemente jeweils entweder in einer orthogonalen dreidimensionalen Matrix oder in einer dreidimensionalen Matrix mit hexagonal dichtester Kugelpackung angeordnet sein. Während die erste Möglichkeit eine einfach nachvollziehbare Unterteilung der dreidimensionalen Vorlage in die ersten, zweiten, dritten, usw. Volumen gestattet, bietet die zweite Möglichkeit den Vorteil, daß die dreidimensionale Vorlage durch die Anordnung der Abtast- bzw. Aufzeichnungsvolumenelemente mit weniger Informationsverlust aufgezeichnet bzw. wiedergegeben werden können; denn bei der hexagonal dichtesten Kugelpackung ist die Größe der Zwischenräume zwischen den einzelnen Volumenelementen minimal.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird eine Vorlage zeilenweise abgetastet und der Tonwert jedes Abtastpunktes ermittelt. Mehrere Abtastpunkte werden jeweils zu einem Abtastfeld zusammengefaßt. Der mittlere Tonwert jedes Abtastfeldes wird durch Mittelung der Tonwerte der Abtastpunkte dieses Abtastfeldes bestimmt. Die Vorlage wird auf einem Aufzeichnungsmedium durch einzelne Aufzeichnungspunkte, die nur den Farbwert "Voll" oder "Null" annehmen können, wiedergegeben. Mehrere Aufzeichnungspunkte entsprechen dabei einem Abtastfeld der Vorlage. Durch Einfärben einer bestimmten Anzahl von Aufzeichnungspunkten kann der Tonwert des Abtastfeldes im Mittel quasi exakt wiedergegeben werden. Die Verteilung der für ein Abtastfeld einzufärbenden Aufzeichnungspunkte wird durch Unterteilung des Abtastfeldes in kleinste Teilfelder bestimmt. Das Abtastfeld wird dabei in mindestens einem Unterteilungsschritt in diese kleinsten Felder unterteilt, wobei der mittlere Tonwert jedes entstandenen Teilfeldes derart bestimmt wird, daß die Anzahl der in allen Teilfeldern eines Abtastfeldes einzufärbenden Aufzeichnungspunkte dem mittleren Tonwert des Abtastfeldes entspricht.

Durch die Einteilung der Vorlage in die Abtastfelder wird gewährleistet, daß die Wiedergabe der Tonwerte der Vorlage jeweils "bereichsweise", nämlich für die Abtastfelder betrachtet, quasi exakt ist. Um auch noch innerhalb der Abtastfelder Tonwertstufenänderungen genau wiedergeben zu können, wird die Einteilung der Abtastfelder in einzelne immer kleiner werdende Teilfelder vorgenommen, wobei darauf geachtet wird, daß der mittlere Tonwert des Abtastfeldes selbst mit größtmöglicher Genauigkeit wiedergegeben wird.

Nachfolgend werden unter Bezugnahme auf die Figuren Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert. Im einzelnen zeigen

Fig. 1a bis 1i die einzelnen Verfahrensschritte beim Aufzeichnen einer zweidimensionalen Vorlage mit Hilfe des Verfahrens gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel,

Fig. 2a bis 2d die einzelnen Verfahrensschritte beim Aufzeichnen einer zweidimensionalen Vorlage mit Hilfe des Verfahrens gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel,

Fig. 3 ein Beispiel für die Aufzeichnung einer zweidimensionalen Vorlage, wenn die Abtastauflösung doppelt so groß wie die Aufzeichnungsauflösung ist und

Fig. 4 ein Beispiel für die Aufzeichnung einer zweidimensionalen Vorlage, wenn die Abtastauflösung halb so groß wie die Aufzeichnungsauflösung ist.

In den Fig. 1a bis 1i sind die einzelnen Verfahrensschritte zum Aufzeichnen einer zweidimensionalen Vorlage für den Fall dargestellt, daß die Abtastauflösung gleich der Aufzeichnungsauflösung ist. Das bedeutet, daß ein Abtastpunkt der Vorlage durch einen Aufzeichnungspunkt auf dem Aufzeichnungsmedium wiedergegeben wird. Der Einfachheit halber sind die Abtast- und Aufzeichnungspunkte jeweils durch quadratische Felder dargestellt. Tatsächlich haben die Abtast- und die Aufzeichnungspunkte eine Kreisfläche. Weiterhin sei der Einfachheit halber angenommen, daß es sich bei der aufzuzeichnenden Vorlage um ein Schwarz-Weiß-Bild handelt. In diesem Fall entspricht der Tonwert eines Abtastpunktes einem bestimmten Grauton (Graustufe) zwischen den "Grauwerten" schwarz und weiß.

Die aufzuzeichnende Vorlage 10 wird in einer Abtastvorrichtung, wie z. B. einem Scanner, einer elektronischen Kamera o. dgl., zunächst zeilenweise abgetastet. Das von der Abtastvorrichtung für jeden Abtastpunkt erzeugte Signal repräsentiert den Tonwert des betreffenden Abtastpunktes. Diese Signale werden in digitaler Form abgespeichert, so daß sie während des gesamten Verfahrens jederzeit verfügbar sind. Die Vorlage wird auf einem Aufzeichnungsmedium, beispielsweise einem Blatt Papier, einer Druckplatte oder einem Bildschirm, durch einzelne Punkte (Aufzeichnungspunkte) wiedergegeben bzw. dargestellt.

Die Vorlage 10 wird zunächst gemäß Fig. 1 in Abtastfelder 12 unterteilt, die jeweils aus mehreren Abtastpunkten 14 bestehen. Bei der Wiedergabe der Vorlage auf dem Aufzeichnungsmedium, also bei der Kopie der Vorlage, ist darauf zu achten, daß der mittlere Tonwert eines Abtastfeldes (d. h. der Mittelwert der Tonwerte sämtlicher Abtastpunkte 14 eines Abtastfeldes 12) so genau wie möglich durch die Aufzeichnungspunkte wiedergegeben wird. Erfahrungsgemäß sind von dem menschlichen Auge ca. 150 Tonwertstufen visuell unterscheidbar. Bei einem Schwarz-Weiß-Bild sollte also der Bereich zwischen schwarz und weiß durch ca. 150 Graustufen darstellbar sein. Zur Darstellung der 150 Graustufen durch die Aufzeichnungspunkte auf dem Aufzeichnungsmedium muß jedes Abtastfeld 12 der Vorlage durch mindestens 150 Aufzeichnungspunkte auf dem Aufzeichnungsmedium dargestellt werden können. Ein einzelner Aufzeichnungspunkt kann nur den Farbwert "Voll", also schwarz, oder den Farbwert "Null", also weiß, annehmen. Durch Variation der Anzahl der eingefärbten Aufzeichnungspunkte innerhalb eines mindestens 150 Aufzeichnungspunkte umfassenden Bereiches können die verschiedenen Grauwertstufen zwischen weiß und schwarz realisiert werden.

Die bei der Bildverarbeitung heute übliche Digitaltechnik legt es nahe, die Grauskala in 256 Stufen zu unterteilen. Die 256 Graustufen können auf dem Aufzeichnungsmedium durch 256 Aufzeichnungspunkte, die in einer 16 Zeilen und 16 Spalten aufweisenden Matrix angeordnet sind, dargestellt werden. Das heißt, daß ein Abtastfeld 12 der Vorlage 10 auf dem Aufzeichnungs-



medium durch 256 in einer Matrix angeordnete Aufzeichnungspunkte wiedergegeben wird. Der mittlere T wert eines Abtastfeldes 12 kann also mit einer Genauigkeit von  $1/256 = 1/2^{-8}$  praktisch exakt wiedergegeben werden.

Da die Größe von Abtast- und Aufzeichnungspunkt gleich groß ist, beträgt die Anzahl der Abtastpunkte 14 pro Abtastfeld auch 256. Der Durchmesser eines einzelnen Abtast- bzw. Aufzeichnungspunktes betrage beispielsweise  $20\text{ }\mu\text{m}$ , d. h. in der vereinfachten Darstellung der Abtastpunkte in den Figuren entspricht ein Abtastpunkt einer Fläche von  $20\text{ }\mu\text{m} \times 20\text{ }\mu\text{m}$ . Ein Abtastfeld 12 hat demnach eine Längen- und Breitenausdehnung von  $16 \times 20\text{ }\mu\text{m} = 320\text{ }\mu\text{m} \sim 300\text{ }\mu\text{m}$ .

Zur Ermittlung des mittleren Tonwertes eines Abtastfeldes 12 wird das von der Abtastvorrichtung für jeden Abtastpunkt gelieferte analoge Signal, das den Tonwert des betreffenden Abtastpunktes repräsentiert, mit 8 Bit Genauigkeit binär kodiert. Mit dem 8 Bit Binärcode läßt sich — im Falle einer Schwarz-Weiß-Vorlage — die (kontinuierliche) Grauskala der Vorlage in 256 Graustufen unterteilen. Die Unterteilung der Grauskala ist so fein, daß das menschliche Auge bei Betrachtung eines Abtastfeldes den Unterschied zwischen zwei Grauwerten nicht bzw. kaum unterscheiden kann. Die kontinuierliche Grauskala der Vorlage kann in der Aufzeichnung quasikontinuierlich wiedergegeben werden. Bei den aufzuzeichnenden Bildern handelt es sich also um Quasihalbtonbilder.

Der mittlere Tonwert des Abtastfeldes ergibt sich durch Addition der binärkodierten Grauwerte der Abtastpunkte des Abtastfeldes und anschließender Division durch die Anzahl von Aufzeichnungspunkten. Es ist vorteilhaft, den mittleren Grauwert des Abtastfeldes mittels digitalem Addierwerk zu bestimmen. Addiert man die Grauwerte aller Abtastelemente des Abtastfeldes, in unserem Fall 256 einzelne Grauwerte, mittels digitalem Addierwerk, so erhält man eine digitale Zahl, deren oberste 8 Bit sowohl den mittleren Grauwert des Abtastfeldes mit der geforderten Genauigkeit, als auch direkt die Anzahl der zur Darstellung dieses Grauwertes einzufärbenden Aufzeichnungspunkte angibt. Beträgt nämlich der mittlere Grauwert sämtlicher 256 Aufzeichnungspunkte eines Abtastfeldes beispielsweise 143, so besagt diese Zahl, daß von den 256 Aufzeichnungspunkten, die dem Abtastfeld auf dem Aufzeichnungsmedium entsprechen, 143 Aufzeichnungspunkte einzufärben sind. Über die Verteilung der einzufärbenden Aufzeichnungspunkte innerhalb der Aufzeichnungspunktmatrix kann noch nichts ausgesagt werden. Diese Verteilung wird mit Hilfe der nachfolgend beschriebenen Verfahrensschritte bestimmt.

Die einzelnen Verfahrensschritte werden anhand eines Abtastfeldes 12 erläutert, dessen mittlerer Grauwert 145 beträgt. Dieser Grauwert kann durch 256 Aufzeichnungspunkte realisiert werden. Die im folgenden jeweils als Index hinter den mittleren Grauwerten angegebene Zahl gibt an, mit welcher Anzahl von Aufzeichnungspunkten der betreffende mittlere Grauwert realisiert werden kann.

Das Abtastfeld 12 wird in einem ersten Unterteilungsschritt in zwei gleichgroße erste Felder *F1-1* und *F1-2* unterteilt. Jedes dieser beiden ersten Felder besteht aus 128 Abtastpunkten und wird auf dem Aufzeichnungsmedium durch 128 Aufzeichnungspunkte wiedergegeben. Von jedem der beiden ersten Felder wird der mittlere Grauwert bestimmt. Der mittlere Grauwert eines ersten Feldes kann jedoch nicht mehr mit einer Genau-

igkeit von  $1/256$  wiedergegeben werden, da das erste Feld nur noch durch 128 Aufzeichnungspunkte darstellbar ist. Das heißt, die Genauigkeit, mit der der mittlere Grauwert einer Hälfte des Abtastfeldes wiedergegeben werden kann, ist geringer als die Genauigkeit, mit der der mittlere Grauwert des gesamten Abtastfeldes wiedergegeben werden kann. Der mittlere Grauwert der ersten Felder kann jeweils nur mit einer Genauigkeit von  $1/128$  wiedergegeben werden, da jedes erste Feld nur 128 Aufzeichnungspunkten entspricht und mit diesen 128 Aufzeichnungspunkten auch nur eine Einteilung der Grauskala in 128 Graustufen vorgenommen werden kann.

Bei der Bestimmung der mittleren Tonwerte der beiden ersten Felder *F1-1* und *F1-2* wird wie folgt verfahren:

Zunächst wird für eines der beiden ersten Felder, beispielsweise für das erste Feld *F1-1*, der mittlere Tonwert durch Mittlung der Tonwerte der einzelnen Abtastpunkte des ersten Feldes *F1-1* berechnet. Hierbei ergibt sich beispielsweise der Wert  $131_{256}$ . Bei der Berechnung ist jedoch von einer durch die Aufzeichnungspunkte des Feldes *F1-1* zu realisierenden Grauskala mit 256 Einteilungen ausgegangen worden. Da das Feld *F1-1* in der Wiedergabe jedoch nur durch 128 Aufzeichnungspunkte darstellbar ist, muß der auf der Basis von 256 Aufzeichnungspunkten ermittelte Tonwert von  $131_{256}$  auf den entsprechenden mittleren Tonwert auf der Basis von 128 Aufzeichnungspunkten umgerechnet werden. Dies erfolgt durch Division des Grauwertes  $131_{256}$  durch 2, so daß man  $65,5_{128}$  erhält. Es müßten also 65,5 Aufzeichnungspunkte eingefärbt werden, um den mittleren Tonwert des ersten Feldes *F1-1* wiedergeben zu können. Eingefärbt werden schließlich 66 Aufzeichnungspunkte, so daß bei der Wiedergabe des mittleren Tonwertes des Feldes *F1-1* ein Fehler von einem halben eingefärbten Aufzeichnungspunkt gemacht wird.

Würde man auch den mittleren Tonwert des Feldes *F1-2* auf die oben beschriebene Art und Weise ermitteln, so käme man auf einen Wert von  $159_{256}$ , was  $79,5_{128}$  entspricht. Zur Darstellung dieses mittleren Grauwertes würden 80 Aufzeichnungspunkte innerhalb des Feldes *F1-2* eingefärbt. Insgesamt würden demnach 66 Aufzeichnungspunkte im Bereich des Feldes *F1-1* und 80 Aufzeichnungspunkte im Bereich des Feldes *F1-2* eingefärbt, so daß über das gesamte Abtastfeld 12 betrachtet, 146 Aufzeichnungspunkte eingefärbt würden. Zur exakten Darstellung des mittleren Tonwertes des Abtastfeldes 12 sollen jedoch nur 145 Aufzeichnungspunkte eingefärbt werden. Um diesen Fehler bei der Anzahl einzufärbender Aufzeichnungspunkte innerhalb des Abtastfeldes zu vermeiden, wird der mittlere Grauwert des Feldes *F1-2* nicht durch Mittlung der Grauwerte der Abtastpunkte des Feldes *F1-2* berechnet, sondern ergibt sich aus der Differenz der Anzahl der einzufärbenden Aufzeichnungspunkte des Abtastfeldes und der Anzahl der einzufärbenden Aufzeichnungspunkte des Feldes *F1-1*. Der so bestimmte mittlere Tonwert für das Feld *F1-2* beträgt demnach  $79_{128}$ .

Der mittlere Grauwert des Feldes *F1-1* kann auch dadurch ermittelt werden, daß die 8 Bit Binärcode der Abtastelemente des Feldes *F1-1* mittels eines digitalen Addierwerks addiert werden. Die obersten 7 Bits ergeben dann nach Auf- oder Abrunden den mittleren Grauwert des Feldes *F1-1* auf der Basis von 128 Aufzeichnungspunkten und somit auch gleich die Anzahl von für das Feld *F1-1* einzufärbenden Aufzeichnungspunkten an.



Das hier beschriebene Verfahren zur Ermittlung der mittleren Grauwerte der in einem Unterteilungsschritt entstandenen Felder wird in jedem nachfolgenden Unterteilungsschritt durchgeführt. Dadurch wird gewährleistet, daß die Gesamtanzahl einzufärbender Aufzeichnungspunkte für ein Abtastfeld gleichbleibt und der mittlere Grauwert des Abtastfeldes als Ganzes betrachtet mit der größten Genauigkeit wiedergegeben werden kann.

Anhand von Fig. 1d wird nachfolgend der zweite Unterteilungsschritt erläutert. In dem zweiten Unterteilungsschritt werden die ersten Felder  $F1-1$  und  $F1-2$  jeweils in zwei zweite Felder  $F2-1-1$  und  $F2-1-2$  bzw.  $F2-2-1$  und  $F2-2-2$  unterteilt. Das Abtastfeld 12 ist nach dem zweiten Unterteilungsschritt also in vier Viertel unterteilt. Für jeweils eines der beiden aus einem ersten Feld entstandenen zweiten Felder wird der mittlere Grauwert durch Mittlung der Grauwerte der einzelnen Abtastpunkte dieses zweiten Feldes ermittelt. Da jedes zweite Feld durch 64 Aufzeichnungspunkte darstellbar ist, kann der mittlere Grauwert eines zweiten Feldes nur noch mit  $1/64$  Genauigkeit wiedergegeben werden. Beispielsweise betrage der so berechnete mittlere Grauwert des zweiten Feldes  $F2-1-2$   $142_{256}$ . Das entspricht einem mittleren Grauwert von  $45,25_{64}$ , d. h. innerhalb des zweiten Feldes  $F2-1-2$  werden 45 Aufzeichnungspunkte eingefärbt. Dieser Wert ergibt sich durch die obersten 6 Bits des mittleren Tonwertes des zweiten Feldes  $F2-1-2$  in binärkodierter Form. Da die Anzahl der in dem zweiten Feld  $F2-1-1$  und  $F2-1-2$  einzufärbenden Aufzeichnungspunkte gleich der Anzahl der in dem ersten Feld  $F1-1$  einzufärbenden Aufzeichnungspunkte sein muß, muß dem zweiten Feld  $F2-1-1$  zwangsläufig der mittlere Grauwert  $31_{64}$  zugeordnet werden. Nach der Berechnung durch Mittlung der Grauwerte der einzelnen Abtastpunkte des zweiten Feldes  $F2-1-1$  würde sich ein mittlerer Grauwert von  $120_{256}$ , d. h.  $30_{64}$  ergeben. Dieser Fehler wird bewußt in Kauf genommen, damit die Gesamtzahl der innerhalb der zweiten Felder  $F2-1-1$  und  $F2-1-2$  einzufärbenden Aufzeichnungspunkte gleich der Anzahl der in dem ersten Feld  $F1-1$  einzufärbenden Aufzeichnungspunkte ist.

Auf gleiche Art und Weise werden auch die mittleren Grauwerte der zweiten Felder  $F2-2-1$  und  $F2-2-2$ , die aus dem ersten Feld  $F1-2$  entstanden sind, ermittelt.

Man kann folgendes feststellen: Mit immer feiner werdender Unterteilung des Abtastfeldes wird der mittlere Grauwert der einzelnen Teilfelder immer ungenauer wiedergegeben. Dies wirkt sich jedoch nicht störend aus, da das Auge die immer kleiner werdenden Teilfelder unter entsprechend immer kleiner werdenden Sehwinkeln sieht und ihre Grauwerte ohnehin nur immer ungenauer erkennen kann. Die bei der Bestimmung der mittleren Grauwerte mit zunehmender Aufteilung immer größer werdenden Fehler sind also visuell nicht erkennbar. Man kann sogar soweit gehen, daß die Anzahl der in einem Feld einzufärbenden Aufzeichnungspunkte um eins erhöht (oder erniedrigt) werden kann, ohne daß sich dies fehlerhaft bemerkbar macht. Genau dieser Spielraum wurde, wie oben beschrieben, bei der Bestimmung des mittleren Grauwertes des Feldes  $F2-1-1$  gemacht. Entscheidend ist, daß der mittlere Grauwert eines Abtastfeldes 12 durch eine entsprechende Anzahl von eingefärbten Aufzeichnungspunkten quasi exakt wiedergegeben wird. Gerade dies wird bei der oben beschriebenen Ermittlung der mittleren Grauwerte der in einem Unterteilungsschritt entstandenen

Felder erreicht.

In weiteren sechs Unterteilungsschritten, die teilweise in den Fig. 1e—1h dargestellt sind, werden die zweiten Felder des zweiten Schrittes weiter unterteilt. Schließlich ist das Abtastfeld 12 nach dem achten Unterteilungsschritt bis in jeden einzelnen Abtastpunkt aufgeteilt. In Fig. 1h ist angenommen, daß das siebte Feld  $F7-1-1$ , aus dem in dem achten Unterteilungsschritt die beiden achten Felder  $F8-1-1$  und  $F8-1-2$  entstehen, einen mittleren Grauwert von  $2_2$  aufweist. Zur Darstellung dieses Grauwertes müssen die beiden achten Felder  $F8-1-1$  und  $F8-1-2$ , d. h. die entsprechenden Aufzeichnungspunkte, jeweils eingefärbt sein. Im Falle der beiden achten Felder  $F8-2-1$  und  $F8-2-2$  ist die Aufteilung der einzufärbenden Aufzeichnungspunkte nicht im Voraus klar. Es muß zunächst der "mittlere" Grauwert einer dieser beiden achten Felder ermittelt werden. Der "mittlere" Grauwert eines achten Feldes ist jedoch gleich dem Grauwert eines Abtastpunktes. Dieser Grauwert kann jedoch nur entweder durch einen eingefärbten oder einen nicht eingefärbten Aufzeichnungspunkt wiedergegeben werden. In dem Beispiel der Fig. 1h ist z. B. angenommen, daß der Grauwert des dem achten Feld  $F8-2-2$  entsprechenden Abtastpunktes  $117_{256}$  entspricht. Wird dieser Grauwert auf die durch einen einzigen Aufzeichnungspunkt darstellbare Grauskala, die demnach nur in zwei Bereiche unterteilt ist (nämlich eingefärbt oder nicht eingefärbt), übertragen, so wird das achte Feld  $F8-2-2$  durch einen nicht eingefärbten Aufzeichnungspunkt dargestellt. Demnach muß das achte Feld  $F8-2-1$  durch einen eingefärbten Aufzeichnungspunkt wiedergegeben werden. In Fig. 1i ist schließlich dargestellt, welche der der oberen linken Ecke des Abtastfeldes 12 nach Fig. 1b entsprechenden Aufzeichnungspunkte 14 in dem hier gewählten Beispiel eingefärbt sind.

Durch die Einteilung jedes Abtastfeldes bis hin zu Feldern, deren Größe einem Abtast- bzw. Aufzeichnungspunkt entsprechen, wird das maximal mögliche Auflösungsvermögen der Vorlage erzielt. Die Aufteilung der Vorlage in die Abtastfelder mit einer Kantenlänge von ca.  $300\text{ }\mu\text{m}$  erlaubt zunächst nur ein Auflösungsvermögen von 30 Linien/Zentimetern (L/cm). Dieses Auflösungsvermögen ist natürlich zu gering, um Einzelheiten der Vorlage exakt wiedergeben zu können. Die Einteilung in die etwa  $300\text{ }\mu\text{m} \times 300\text{ }\mu\text{m}$  großen Abtastfelder wurde allerdings auch nur gewählt, um die Mindestanforderungen hinsichtlich der Tonwertabstufung sicher zu erfüllen. Das gewünschte Auflösungsvermögen wird durch das oben beschriebene schrittweise Unterteilen des Abtastfeldes erreicht. Die Aufteilung des Abtastfeldes in Viertel ergibt das doppelte Auflösungsvermögen, die Aufteilung in Sechzehntel das vierfache Auflösungsvermögen usw. Im Grenzfall kann das Abtastfeld 256fach unterteilt werden, um das höchstmögliche Auflösungsvermögen, in dem Beispiel  $500\text{ L/cm}$ , zu erreichen (1 cm der Vorlage wird dabei in 500 Linien mit der Breite  $20\text{ }\mu\text{m}$ , also der Breite eines Aufzeichnungspunktes, aufgeteilt).

Bei der Aufteilung des Abtastfeldes in immer kleiner werdende Felder wird der mittlere Tonwert der Felder immer ungenauer wiedergegeben. Das wirkt sich jedoch, wie bereits oben beschrieben, visuell nicht aus. Mit dem Verfahren können Bildvorlagen also einerseits mit einem sehr hohen Auflösungsvermögen und andererseits mit ausreichender Tonwertabstufung aufgezeichnet werden. Dabei sind visuell weder Verluste hinsichtlich der Detailwiedergabe noch der Tonwertwiedergabe

be erkennbar.

In dem Fig. 2a bis 2d ist eine andere Variante des Verfahrens dargestellt, bei dem das Abtastfeld 12 in vier Unterteilungsschritten bis zu den einzelnen Abtastpunkten unterteilt wird. In jedem Unterteilungsschritt wird ein Teilfeld in vier gleich große kleinere Teilfelder unterteilt. Der erste Unterteilungsschritt ist in Fig. 2a dargestellt. Es sei wiederum angenommen, daß der mittlere Grauwert des Abtastfeldes 12  $145_{256}$  beträgt. In dem ersten Unterteilungsschritt wird das Abtastfeld in vier erste Felder I, II, III und IV unterteilt. Der mittlere Tonwert von drei dieser ersten Felder wird anschließend durch Mittlung der Tonwerte der Abtastpunkte der betreffenden ersten Felder ermittelt. Dabei ergeben sich beispielsweise die folgenden mittleren Grauwerte:

$$\begin{aligned}\text{Feld I: } 210_{256} &= 52,5_{64} = 53_{64} \\ \text{Feld II: } 120_{256} &= 30_{64} \\ \text{Feld III: } 170_{256} &= 42,5_{64} = 43_{64}.\end{aligned}$$

Die auf der Basis von 256 Aufzeichnungspunkten berechneten mittleren Grauwerte der einzelnen ersten Felder sind dabei bereits in einen mittleren Tonwert auf der Basis von 64 Aufzeichnungspunkten umgerechnet worden, da jedes erste Feld 64 Abtast- bzw. Aufzeichnungspunkten entspricht. Der mittlere Tonwert des ersten Feldes IV ergibt sich nun als Differenz zwischen der Summe der mittleren Grauwerte der ersten Felder I bis III und der Anzahl in dem Abtastfeld 12 einzufärbender Aufzeichnungspunkte. Der mittlere Tonwert des ersten Feldes IV beträgt demnach  $19_{64}$ . Wäre der mittlere Tonwert des ersten Feldes IV durch Mittlung der Tonwerte der Abtastpunkte des Feldes IV ermittelt worden, so hätte sich ein mittlerer Tonwert von  $80_{256} = 20_{64}$  ergeben. Tatsächlich aber werden im Bereich des ersten Feldes IV nicht 20 sondern 19 Aufzeichnungspunkte eingefärbt. Durch diese Maßnahme werden die bei der mittleren Grauwertbestimmung der ersten Felder I und III gemachten Fehler kompensiert.

Jedes der ersten Felder I bis IV wird in drei weiteren Unterteilungsschritten weiter unterteilt, wie es in den Fig. 2b bis 2d für das erste Feld I dargestellt ist. Von drei der jeweils vier in einem Unterteilungsschritt entstandenen Felder werden die mittleren Grauwerte bestimmt. Der mittlere Grauwert des letzten dieser vier Felder wird derart festgelegt, daß die Summe der in den vier Feldern einzufärbenden Aufzeichnungspunkte gleich der Anzahl der einzufärbenden Aufzeichnungspunkte desjenigen Feldes ist, aus dem die vier Felder entstanden sind. Nach dem vierten Unterteilungsschritt ist das Abtastfeld 12 in Felder unterteilt, die die Größe eines Abtast- bzw. Aufzeichnungspunktes haben. Vier dieser Felder, nämlich  $I_{111}$ ,  $I_{112}$ ,  $I_{113}$  und  $I_{114}$ , sind in Fig. 2d dargestellt.

Mit der in den Fig. 2a bis 2d dargestellten Variante des Verfahrens läßt sich ein Abtastfeld 12 in nur vier Schritten bis in die Abtast- bzw. Aufzeichnungspunkte unterteilen. Das Verfahren läuft also schneller ab.

Bisher wurde das Verfahren für den Fall beschrieben, daß die Abtastauflösung gleich der Aufzeichnungsauflösung ist, oder anders ausgedrückt, daß die Größe eines Abtastpunktes gleich derjenigen eines Aufzeichnungspunktes ist. Es ist aber auch durchaus der Fall denkbar, daß die Abtastauflösung doppelt so groß wie die Aufzeichnungsauflösung ist. Das heißt, daß vier Abtastpunkte durch einen Aufzeichnungspunkt dargestellt werden. Nimmt man wiederum an, daß ein Abtastpunkt die Größe eines Quadrates mit der Kantenlänge  $20\text{ }\mu\text{m}$

hat, so würde die Vorlage mit einer Auflösung von  $500\text{ L/cm}$  abgetastet, aber nur mit einer Auflösung von  $250\text{ L/cm}$  wiedergegeben. In einem solchen Fall ist die Aufteilung des Abtastfeldes bis zu den einzelnen Abtastpunkten hin unzweckmäßig, da ein einzelner Abtastpunkt auf dem Aufzeichnungsmedium nicht wiedergegeben werden kann. Die Größe der Felder, in die das Abtastfeld höchstens unterteilt werden kann, wird daher durch die Größe eines Aufzeichnungspunktes bestimmt.

In Fig. 3 ist dargestellt, in welche Felder das Abtastfeld 12 in einem solchen Fall mit dem in den Fig. 2a bis 2d dargestellten Verfahren unterteilt wird. In dem ersten Schritt entstehen die ersten Felder I bis IV, während in dem zweiten Schritt die zweiten Felder  $I_1$  bis  $I_4$  entstehen (in Fig. 3 ist die Aufteilung in zweite Felder nur für das erste Feld I dargestellt). In dem dritten und letzten Unterteilungsschritt entstehen die dritten Felder, von denen die Felder  $I_{11}$ ,  $I_{12}$ ,  $I_{13}$ ,  $I_{14}$ , die aus dem zweiten Feld  $I_1$  entstanden sind, eingezeichnet sind. Die Größe der dritten Felder entsprechen genau der Größe eines Aufzeichnungspunktes. Dem Aufzeichnungspunkt entsprechen jedoch vier Abtastpunkte in der Vorlage.

Da die 256 Abtastpunkte der Vorlage nur durch 64 Aufzeichnungspunkte auf dem Aufzeichnungsmedium wiedergegeben werden können, kann der mittlere Tonwert eines Abtastfeldes 12 nur noch in 64 diskreten Tonwertstufen wiedergegeben werden. Die Berechnung des mittleren Tonwertes eines Abtastfeldes durch Mittlung der Tonwerte der 256 Abtastpunkte des Abtastfeldes erfolgt daher mit einer Genauigkeit von  $1/64$ . Der mittlere Tonwert der ersten Felder I bis IV kann dementsprechend mit einer Genauigkeit von  $1/16$  und der mittlere Tonwert der zweiten Felder  $I_1$  bis  $I_4$  nur noch mit einer Genauigkeit von  $1/4$  wiedergegeben werden. Nach dem dritten Unterteilungsschritt ist das Abtastfeld 12 schließlich in die dritten Felder aufgeteilt, die jeweils so groß wie ein Aufzeichnungspunkt sind. Für die dritten Felder sind nur noch die "mittleren" Tonwerte "0" und "1" möglich. Das heißt, daß die Aufzeichnungspunkte entweder voll eingefärbt oder nicht eingefärbt sind.

Das Verfahren kann also auch dann angewendet werden, wenn, wie im Fall der Fig. 3, die Abtastauflösung doppelt so groß wie die Aufzeichnungsauflösung ist, oder allgemeiner gesagt, wenn die Abtastauflösung größer als die Aufzeichnungsauflösung ist. In all diesen Fällen entsprechen mehrere Abtastpunkte der Vorlage einem Aufzeichnungspunkt auf dem Aufzeichnungsmedium. Hierbei geht zwar bei der Aufzeichnung immer ein wenig Detaillierbarkeit verloren, dafür ist aber auch das Verfahren nicht so aufwendig.

Anhand von Fig. 4 wird nachfolgend der Ablauf des Verfahrens für den Fall erläutert, daß die Abtastauflösung kleiner als die Aufzeichnungsauflösung ist. Das kann z. B. der Fall sein, wenn für die Wiedergabe einer Vorlage die Erhaltung der Schärfe nicht unbedingt wichtig ist, und es deshalb genügt, die Vorlage weniger genau abzutasten und dafür mit einer umso höheren Feinheit aufzuzeichnen. Für den in Fig. 4 dargestellten Fall sei angenommen, daß die Abtastauflösung halb so groß wie die Aufzeichnungsauflösung ist. Das heißt, daß ein Abtastpunkt der Vorlage durch vier Aufzeichnungspunkte auf dem Aufzeichnungsmedium dargestellt wird. Die Abtastfelder 12 der Vorlage werden in diesem Fall in kleinste Felder unterteilt, die die Größe eines Abtastpunktes haben. Das in Fig. 4 dargestellte Abtastfeld 12 besteht aus 64 Abtastpunkten, die die Größe des Feldes  $I_{12}$  haben, und wird auf dem Aufzeichnungsmedium

durch 256 Aufzeichnungspunkte dargestellt, die jeweils die Größe des Feldes  $I_{111}$  haben. Der mittlere Tonwert eines Abtastfeldes 12 kann als auf dem Aufzeichnungsmedium durch einen von 256 möglichen Tonwerten, d. h. mit einer Genauigkeit von  $1/256$  dargestellt werden.

Die Aufteilung des Abtastfeldes 12 erfolgt in vier Unterteilungsschritten, wie es im Zusammenhang mit den Fig. 2a bis 2d erläutert worden ist. Nach dem dritten Unterteilungsschritt ist das Abtastfeld 12 in die dritten Felder unterteilt, von denen die Felder  $I_{12}$ ,  $I_{13}$  und  $I_{14}$  dargestellt sind. Die Größe der dritten Felder entspricht genau einem Abtastpunkt. Der Tonwert der dritten Felder kann demnach durch vier Aufzeichnungspunkte dargestellt werden. Beispielsweise würde für den Tonwert "0" eines Abtastelementes keiner der vier Aufzeichnungspunkte eingefärbt werden, wohingegen für den Tonwert "1" ein Aufzeichnungspunkt eingefärbt wäre, für den Tonwert "2" zwei Aufzeichnungspunkte, für den Tonwert "3" drei Aufzeichnungspunkte und für den Tonwert "4" vier Aufzeichnungspunkte eingefärbt würden. Die Verteilung der entsprechend dem Tonwert einzufärbenden Abtastpunkte kann für jeden Tonwert im voraus festgelegt sein, es ist jedoch auch möglich, die Verteilung der einem zu realisierenden Tonwert entsprechenden Anzahl von einzufärbenden Aufzeichnungspunkten nicht nach einem festen Schema zu bestimmen.

In dem oben beschriebenen Beispiel ist die Abtastauflösung halb so groß wie die Aufzeichnungsauflösung. Einem Abtastpunkt der Vorlage entsprechen also vier Aufzeichnungspunkte im Aufzeichnungsmedium. Der Tonwert eines Abtastpunktes ist durch vier Aufzeichnungspunkte darstellbar. Beträgt die Abtastauflösung ein Viertel der Aufzeichnungsauflösung, so wird entsprechend ein Abtastpunkt bzw. sein Tonwert durch 16 Abtastpunkte dargestellt. Mit diesen 16 Abtastpunkten lassen sich 16 Tonwerte darstellen. Das Verfahren ist auch noch in diesem Fall anwendbar. Es ist jedoch darauf zu achten, daß die Anzahl der Tonwertstufen je Abtastpunkt bzw. die Anzahl der Verteilungen einzufärbender Aufzeichnungspunkt nicht allzugroß, z. B. nicht größer als 25 ist. Das heißt, daß die Aufzeichnungsauflösung höchstens fünfmal so groß wie die Abtastauflösung sein sollte, um noch bei relativ geringem Aufwand Bilder mit tolerierbaren Schärfeverlusten gegenüber der Vorlage aufzeichnen zu können.

50

55

60

65

3634939

-1/6-

Nummer:

36 34 939

Int. Cl. 4:

H 04 N 1/00

Anmeldetag:

14. Okt. 1986

Offenlegungstag:

28. April 1988

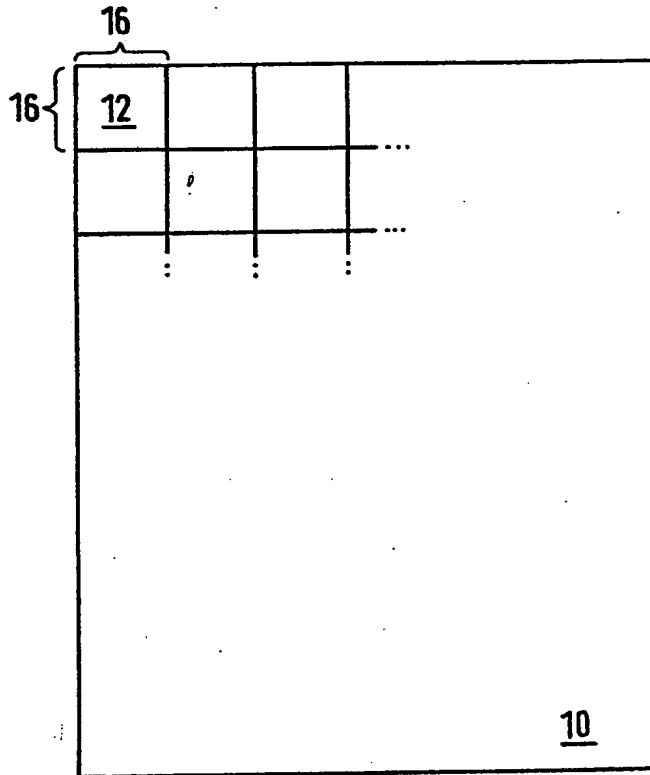


FIG. 1a

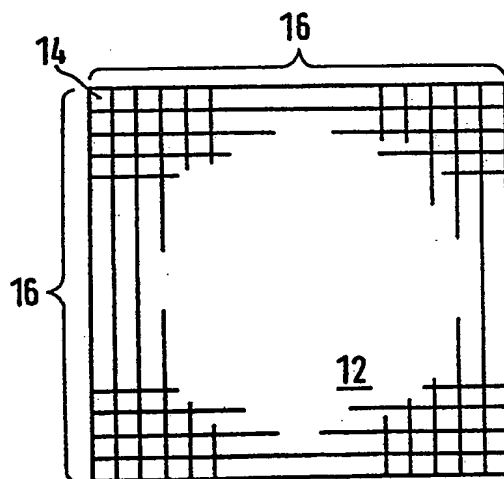


FIG. 1b

42

-2/6-

3634939

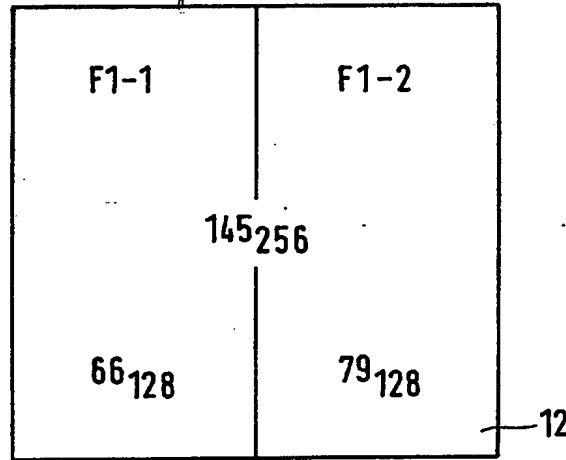


FIG.1c

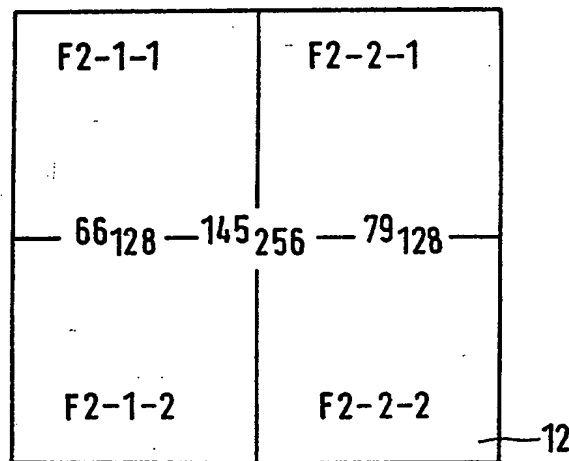


FIG.1d

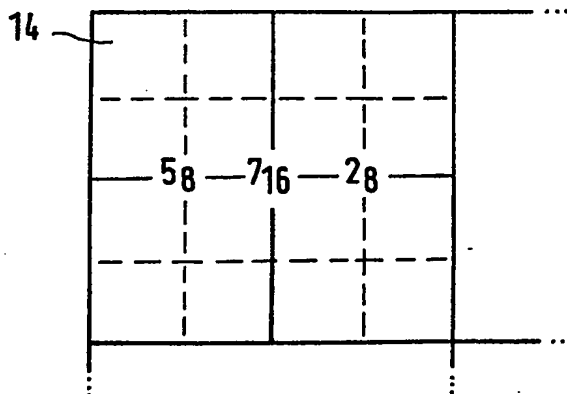


FIG.1e

3634939

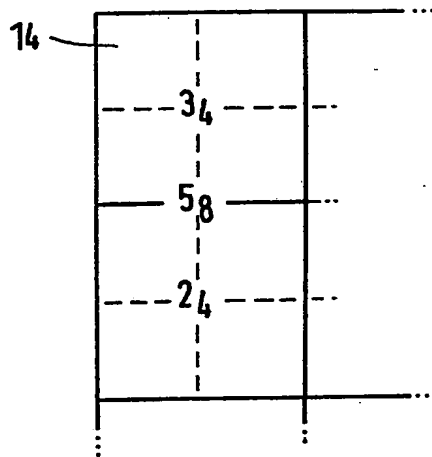


FIG. 1f

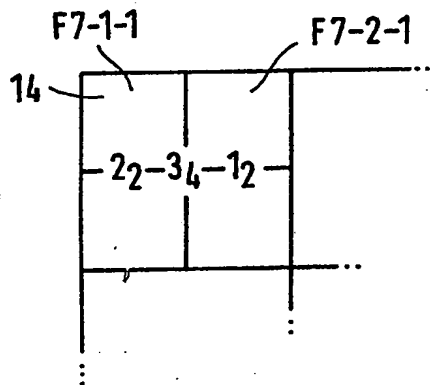


FIG. 1g

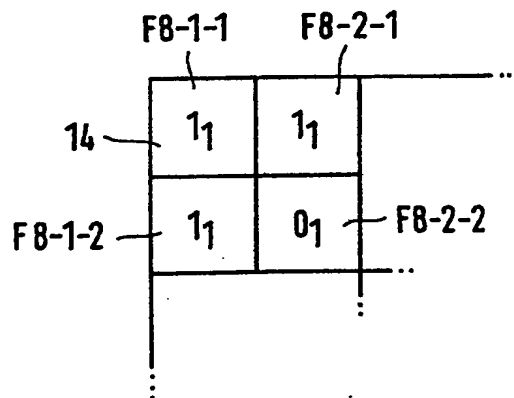


FIG. 1h

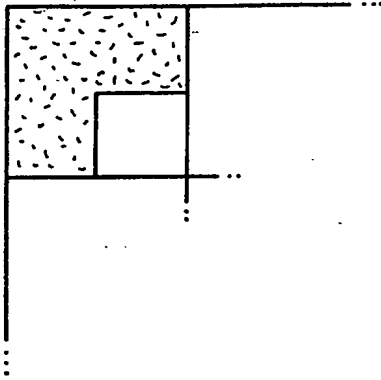


FIG. 1i

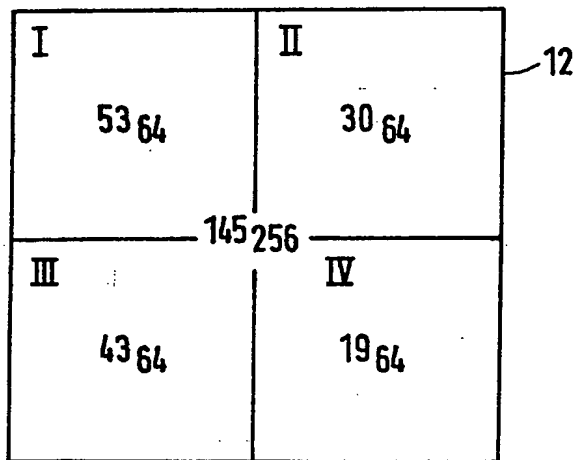


FIG. 2a

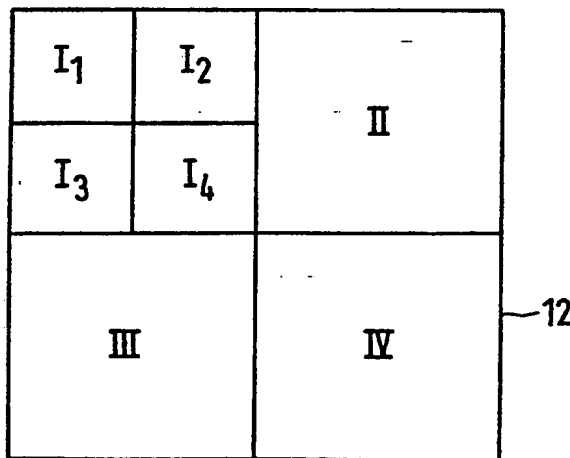


FIG. 2b

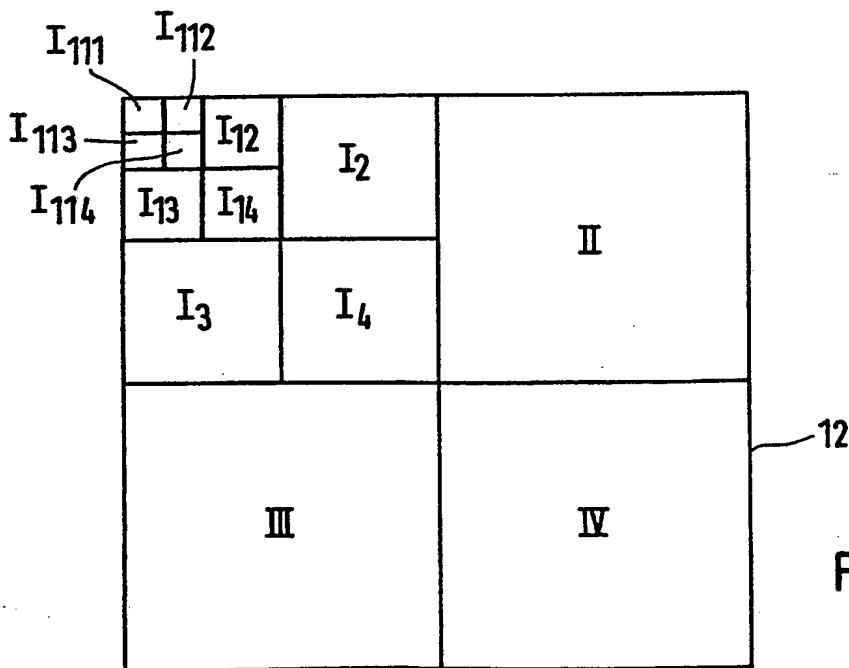
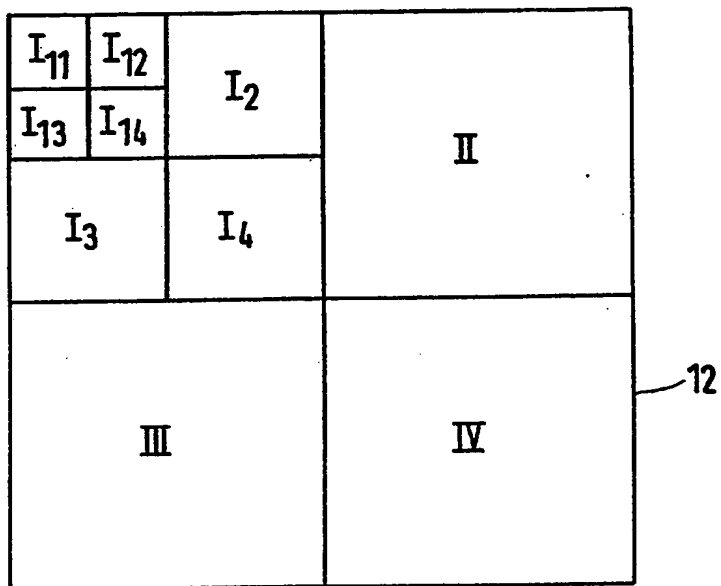


14-10-88

45

-5/6-

3634939



3634939

